

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE TAŽENÍ NEROTAČNÍCH VÝTAŽKŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMAN VÍTEK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE TAŽENÍ NEROTAČNÍCH VÝTAŽKŮ

DRAWING TECHNOLOGY OF NON-ROTARY DRAWING PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMAN VÍTEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vítek Roman

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie tažení nerotačních výtažků

v anglickém jazyce:

Drawing technology of non-rotary drawing parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii tažení nerotačních výtažků. V práci by měly být uvedeny možné metody tažení a výrobní postupy. Dále zde budou uvedeny příklady součástí a jejich využití v praxi spolu s popisem metody.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu moderních metod pro zhotovení nerotačních výtažků s uvážením technologičnosti tvaru daného dílce. Popis metodiky stanovení tvaru finálního výtažku a přehled materiálů vhodných k tažení nerotačních výtažků.

Seznam odborné literatury:

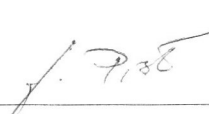
1. TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
2. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
3. FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.


V Brně, dne 27.11.2007

L.S.



doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VÍTEK Roman: Technologie tažení nerotačních výtažků.

Bakalářská práce vypracovaná v rámci studia oboru 2301R016 je zaměřena na teorii technologie tváření nerotačních součástí. Téma je vypracováno na základě literárních informačních pramenů a to od základů teorie tažení rotačních výtažků, přes vysvětlení využití moderních metod při samotné výrobě. V práci je začleněna simulace tažení nerotačních výtažků, rozbor vad při tažení. Dále je uveden přehled netradičních metod tažení, včetně pojednání o specifikách tažení různých materiálů jako nerezové oceli či titanu.

Klíčová slova: plošné tváření, technologie tažení, simulace tažení, nerotační výtažky, vady

ABSTRACT

VÍTEK Roman: Drawing technology of non-rotary drawing parts.

The bachelor thesis written in the frame of studies branch 2301R016 is focused on theory of drawing technology of non-rotary drawing parts. The theme is elaborated on the base of literary sources starting with theory of drawing rotary drawing parts, through description of modern methods used in production itself. The work includes simulation of drawing non-rotary drawing parts, analysis of defects during drawing. There is also an overview of non-traditional drawing methods including essay dealing with various drawing materials such as stainless steel or titan.

Keywords: sheet forming, drawing technology, drawing simulation, non-rotary drawing parts, defects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÍTEK, R. Technologie tažení nerotačních výtažků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Marečková. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 19.5.2008


.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Michaele Marečkové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

1. Úvod.....	15
2. Plošné tváření.....	16
2.1. Tažení rotačních výtažků.....	17
2.1.1. Tažná síla.....	17
2.1.2. Součinitel tažení	18
2.1.3. Redukce při tažení	18
2.1.4. Tažení jednooperační	19
2.1.5. Dvouoperační tažení.....	19
2.1.6. Použití a síla přidržovače	19
2.1.7. Poloměr hran	20
2.1.8. Tažná vůle	20
2.1.9. Tažná rychlost	20
2.1.10. Velikost přístřihu.....	21
2.2. Tažení nerotačních výtažků.....	22
2.2.1. Nádoby obdélníkového/čtvercového tvaru, napjatosti	23
2.2.2. Určení tvaru polotovaru	24
2.2.3. Určení počtu tažných operací, součinitel tažení	26
2.2.4. Tažný poloměr.....	26
2.2.5. Tažná vůle	27
2.2.6. Velikost tažné síly	27
2.2.7. Brzdná žebra.....	27
2.2.8. Konstrukce tažidel pro nerotační výtažky	28
2.3. Simulace tažení na počítačích.....	29
2.4. Vady a nedostatky při tažení nerotačních součástí.....	33
2.5. Mazání	34
2.6. Speciální metody tažení	35
2.6.1. Ohřívání příruba	35
2.6.2. Tažení nepevnými nástroji	35
2.6.3. Metoda GUERIN.....	36
2.6.4. Metoda MARFORM	36
2.6.5. Metoda HIDRAW	37
2.6.6. Metoda HYDROFORM	37
2.6.7. Metoda WHEELON	38
2.6.8. Hydromechanické tažení	38
2.6.9. Tažení „bez tažníku“	39
2.6.10. Explosivní tažení kovů.....	40
2.6.11. Elektromagnetické tažení	40
2.6.12. Elektrohdraulické tažení.....	40
2.7. Materiály vhodné pro tažení	41
2.7.1. Tažení korozivzdorné oceli	41

2.7.2. Tažení mědi a jejích slitin	42
2.7.3. Tažení hliníku a jeho slitin	42
2.7.4. Tažení hořčíku	43
2.7.5. Tažení molybdenu	43
2.7.6. Tažení titanu	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

1. Úvod

Tažení nerotačních výtažků je moderním a vysoce produktivním odvětvím plošného tváření. Díly vyrobené tažením totiž patří k nejlevnějším, a proto je snaha jimi nahrazovat vše, co je možné touto technologií vyrobit. Výtažky jsou nedílnou součástí výroby automobilů, letadel a nepřeberného množství dalších strojů. Vyrábějí se z nich například i kuchyňské potřeby a lékařské nástroje, či různé ochranné, stínící prvky.

Součástí této bakalářské práce je popis určení tvaru polotovaru, počtu tažných operací, velikost tažné síly, tažné vůle či poloměru i použití maziv. Simulace tažení je dnes již nedílnou součástí konstrukce lisovacích nástrojů a proto má i ona zde své místo. Popsány jsou i méně konvenční způsoby tažení jako například tažení pryží, kapalinou a explozí. Dále jsou zhodnoceny běžné materiály vhodné pro tažení i ty méně běžné jako titan, nebo molybden.

2. Plošné tváření [2]

Plošným tvářením se vyrábí součásti (výlisky, výtvarky), které mohou mít, jak velmi malé rozměry, tak velkoplošný charakter. Typickým rysem je nízká hmotnost, dostatečná pevnost i tuhost, zejména jsou-li opatřeny výztužnými lemy, žebry, nebo mají uzavřené obrysové křivky (nádoby, krabice, atd.). Nahrazují úspěšně svařence či odlitky, přičemž lze uspořit $(10 \div 50)$ % materiálu a snížit pracnost o $(25 \div 75)$ %.

Dle jednotlivých prací a jejich operací je možno procesy plošného tváření v souladu s normou ČSN 22 6001 rozdělit na:

- stříhání (prosté, děrování, vystřihování, ostříhování, přistříhování, nastříhování, prostřihování, protrhování, vysekávání)
- ohýbání (prosté, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování, zkrucování)
- tlačení (tlačení tvaru, tlačení se ztenčením stěny, rotační: obrubování, lemování, rozšiřování, zužování, žlábkování)
- tažení (prosté tažení, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, tažení se ztenčením stěny, tažení rotačních výtažků, tažení nerotačních výtažků - viz obr. 1.).

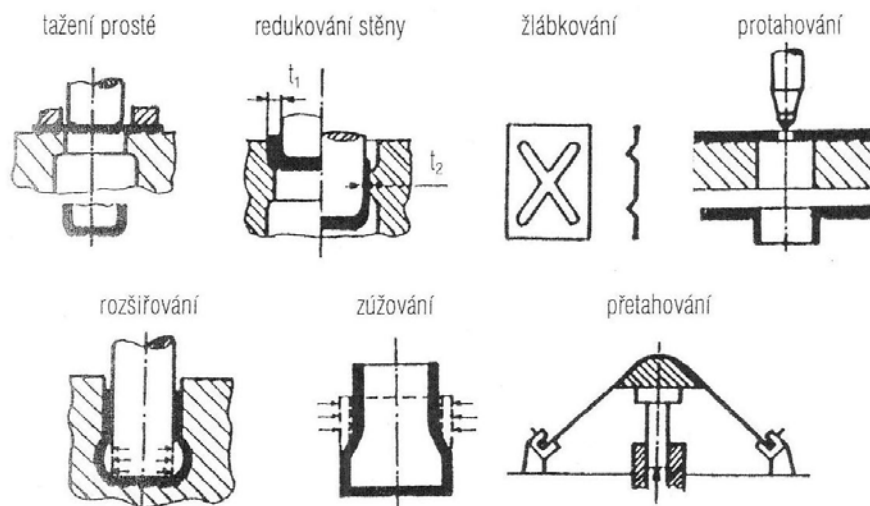
Varianty výroby výlisku:

- konvenčním tažením tažidlem – pevným nástrojem
- nekonvenčním tažením - nepevným nástrojem (metodou Hydroform, Marform apod.)
- explosivním tvářením, magnetickoimpulsním tvářením

Obecný výrobní postup součásti lisované z plechu, nízkolegované oceli, může být následující:

- dělení výchozího plechu
- úpravy přístřihů (odstranění otřepů ostřin, rovnání)
- nanášení maziva
- tváření
- mytí a úpravy po tváření
- dokončovací operace (povrchová ochrana atd.)

Výlisky mohou být určeny k přímému využití (nádoby, stínidla, kryty, části potrubí atd.) nebo postupují do prodeje, či do montáže. Mohou být též užity v dalším výrobním procesu – pro svařování, pájení, a to do složitějších sekcí jako jsou kapoty automobilu.



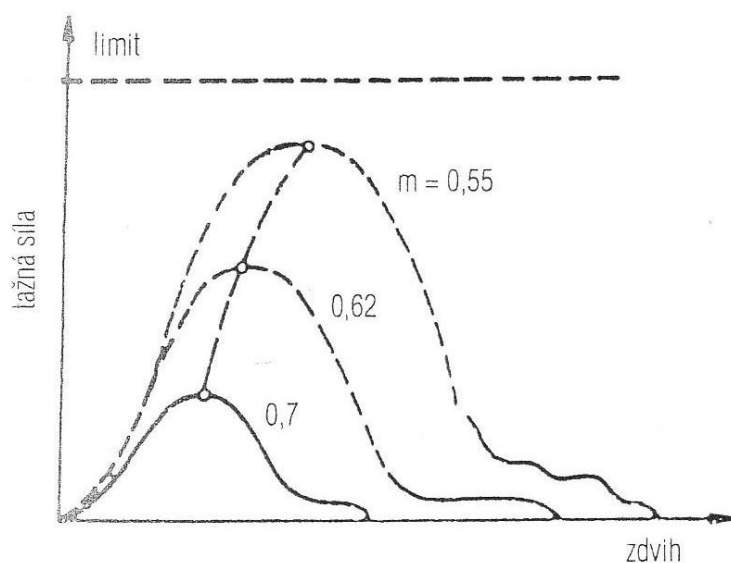
Obr. 1. Přehled metod tažení [2]

2.1. Tažení rotačních výtažků

Tažení rotačních výtažků patří mezi nejjednodušší způsoby tažení plechu. Tažení rotačních výtažků a jeho výpočtových vztahy jsou základem, z kterých vychází tažení nerotačních výtažků. Tažením se vyrábí z rovinných přístřihů (výchozí rovinný polotovár) prostorově duté výlisky, které nelze – oproti ohýbaným výliskům - zpětně rozvinout. Rotační výtažky v mnoha případech slouží také jako výchozí polotovár pro tažení čtvercových výtažků.

2.1.1. Tažná síla [2]

Tažná síla musí překonat odpory spojené s tvárnou deformací a též odpory třecí.



Obr. 2. Příklad průběhu tažné síly [2]

Pro první operaci lze stanovit velikost tažné síly pomocí empirického vztahu:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \cdot C \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde F_t – tažná síla přenášená stěnami výtažku [N]

d – střední průměr výtažku [mm]

t – tloušťka taženého materiálu [mm]

R_m – pevnost materiálu v tahu [MPa]

C – konstanta, která se odvozuje od součinitele tažení m (vybrané hodnoty jsou v tab.

1.) [-]

Tab. 1. Vybrané hodnoty součinitele C v závislosti na m [2]

C	1	0,72	0,5
m_1	0,55	0,65	0,75

F_t se nazývá také skutečná tažná síla. Tato bývá menší než maximální, tj. $F_t < F_{\max}$

$$F_{t\max} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (2)$$

Pokud vyjde skutečná síla větší než maximální, je nutno mezi jednotlivé operace zařadit žíhání, z důvodu obnovení potřebné plasticity materiálu.

2.1.2. Součinitel tažení [2]

Součinitel tažení m udává mezní hodnotu přetvoření pro danou operaci:

$$\text{Pro první} \quad m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad [-] \quad (3)$$

$$\text{Pro druhou} \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1} \quad [-] \quad (4)$$

Jeho hodnotu ovlivňuje druh materiálu, počet tažných operací, tloušťka plechu, tvar výtažku. Pro první operaci, kdy je materiál ještě nezpevněn, je hodnota m nejmenší $m_1 < m_2 < m_3$. Doporučené hodnoty udává tabulka 2.

Tab. 2. Tabulka směrné hodnoty součinitele tažení [2]

materiál	m_0	m_1
ocel		
hlubokotažná		
$t < 2$	0,55 - 0,60	0,75 - 0,80
$t > 2$	0,50 - 0,55	0,72 - 0,75
hliník	0,55 - 0,60	0,75 - 0,80
dural žíhaný	0,50 - 0,55	0,70 - 0,75
dural zpevněný	0,58 - 0,62	0,76 - 0,80

$$\text{Celkový součinitel tažení je } m_c = \frac{d_n}{D_0} \quad [-] \quad (5)$$

kde d_n – konečný požadovaný průměr výtažku [mm]

D_0 – průměr přístřihu [mm]

Víceoperační tažení se užije, je-li $m_c < m_1$; pak $m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n$

2.1.3. Redukce při tažení [1]

Aby při tažení nastala požadovaná trvalá deformace taženého materiálu, musí napětí v taženém kovu (způsobené tažnou silou) převýšit sílu na mezi kluzu R_e , aby se však soudržnost taženého materiálu při tažení neporušila, nesmí tažná síla převýšit jeho pevnost v tahu R_m .

Redukce je poměr průměru přístřihu vůči výtažku (u jednooperačního tažení). Není-li v prvním tahu dosaženo požadované redukce průměru přístřihu, redukuje se průměr výtažku z prvního tahu dále ve druhém, popř. ještě v dalších tazích. Protože se materiál výtažku tvářením za studena zpevňuje, přičemž však mez kluzu stoupá rychleji než mez jeho pevnosti, zmenšuje se v druhém a dalších tazích způsoblost materiálu k tvářením za studena a dosažitelná redukce průměru se tím snižuje. Odstraní-li se však toto zpevnění například žíháním, lze opět volit redukce maximální.

$$\text{Určení redukce pro první tah } R_1 = \frac{D - d_1}{D} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

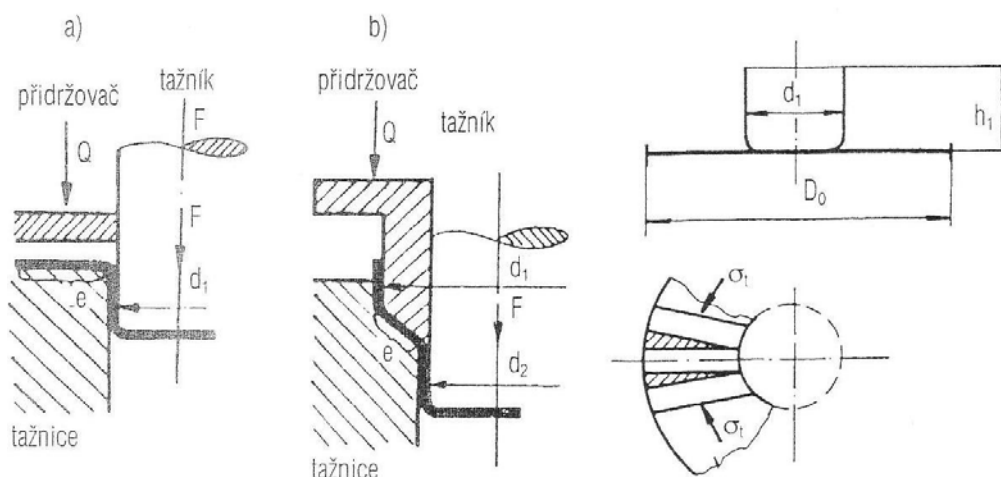
$$\text{Určení redukce pro } n\text{-tý tah } R_n = \frac{d_{n-1} - d_n}{d_{n-1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

$$\text{Součinitel tažení } m \text{ lze z redukce } R \text{ (\%)} \text{ určit pomocí tohoto vzorce: } m = \frac{100 - R}{100} \quad [-] \quad (8)$$

2.1.4. Tažení jednooperační [2]

Vychází z přístřihu – rondelu, jehož mezikruží (D_0-d) se změní ve válcový úsek výtažku o průměru d_1 a výšce h_1 . Přebytný materiál (označen šrafováním) se vytáhne do oblasti stěny a napěchuje působením tlakového tangenciálního napětí σ_t .

I přesto, že se při konstrukci nástrojů vychází z teorie, že se tloušťka plechu nezmění, hotový výtažek má nestejnou tloušťku stěny, u otevřeného konce je tloušťka zvětšena až o 25%. Oblast zaoblení dna je nejtenčí, je zde nebezpečný průřez, ztenčení až 18%. Přidržovač zabráňuje zvlnění prstence, usnadňuje proces přemísťování (vytahování) materiálu, působí na úsek e.



Obr. 3. Základní schéma tažení:

a) tažení jednooperační, b) tažení dvouoperační

2.1.5. Dvou a víceoperační tažení [2]

Má zpravidla jako výstupní polotovár výtažek z první (předcházející) operace. Na obrázku 3. je uveden proces spěchování a vytahování probíhající v šikmém úseku, který může být též přitlačován tvarovým přidržovačem.

2.1.6. Síla a použití přidržovače [1]

U mělkých výtažků tažených z poměrně tlustého materiálu většinou přidržovač není třeba. Taková tažidla jsou jednoduchá, levná a provozně spolehlivá, ale redukce tažení musí být malá, jinak se začne okraj přístřihu vlnit. Obvykle lze bez přidržovače táhnout při redukcích nižších než 10%.

Síla přidržovače se počítá dle:

$$F_p = S_c \cdot p_p \quad [\text{N}] \quad (9)$$

kde S_c – činná plocha pod přidržovačem [mm^2]
 p_p – měrný přidržovací tlak [MPa]

Doporučený tlak p je pro [2]: ocel hlubokotažná (2 ÷ 3) MPa
 nerezová ocel (2 ÷ 5) MPa
 mosaz (1,5 ÷ 2) MPa
 hliník (0,8 ÷ 1,5) MPa

Nedostatečný tlak vede ke zvlnění mezikruží, vysoký tlak blokuje vytahování a vede k utržení dna výlisku.

Používají se různé konstrukce přidržovačů. [3]

U jednočinných lisů se používá těchto typů přidržovačů:

a) Mechanických

Pevných (u těch je nastavena mezera, místo přidržovacího tlaku)

Pružinových (mají nepříznivou tlakovou charakteristiku, přidržovací síla během tažení stoupá se zvětšujícím se předpětím pružiny)

b) Pneumatických (mají nastavitelnou charakteristiku, ale technicky jsou složitější a tedy i dražší).

c) Hydraulických (obdobně jako pneumatické)

U dvojčinných lisů je přidržovač poháněn vnějším beranem lisu prostřednictvím vačkového, vačko-pákového nebo kliko-pákového mechanismu.

O použití jedno nebo dvojčinného lisu lze orientačně rozhodnout podle empirických vztahů,

$$\text{např.: } K < \frac{t}{D} \cdot 100 \quad [-] \quad (10)$$

kde K - materiálová konstanta $[-]$ (pro ocel $K = 2.4$, ostatní kovy $K = 3$)

t - tloušťka plechu $[\text{mm}]$

D - průměr přístřihu $[\text{mm}]$

2.1.7. Poloměr hran [2]

Poloměr hran, zejména tažnice, značně ovlivňuje proces tažení. Při malém poloměru se tažený kov trhá, ale při velkém poloměru dochází k zvlnění okraje přístřihu. Optimální hodnota poloměru tažnice pro 1. či 2. tah je $r_t = (6 \div 10) \cdot t$. Menší hodnoty volíme u malých redukcí a tam, kde vyžadujeme rovný nezvlněný okraj výtažku, který nebude již dále zarovnáván; větší hodnoty pro větší redukce, aby se snížilo namáhání kovu při tažení.

Velikost poloměru je ovlivněna nejen redukcí při tažení, ale i druhem tažného materiálu. Proto se musí zvolená hodnota zaoblení po vyzkoušení tažidla ještě někdy dodatečně upravovat. [1]

2.1.8. Tažná vůle [1]

Jedná se o velikost mezery mezi tažníkem a tažnicí, závisí na tloušťce taženého materiálu a způsobu technologie tažení \rightarrow se ztenčením či bez ztenčení stěny.

Tažná vůle z se volí: $z = (1,2 \div 3) \cdot t \quad [\text{mm}]$ pro 1. tah (11)

$z = (1,1 \div 1,2) \cdot t \quad [\text{mm}]$ pro poslední tah (12)

Přesnější údaje pro volbu parametrů tažení udává norma ČSN 22 7301 až 81.

Příliš velká tažná vůle způsobuje zvlnění výtažku. Při kalibrování je tažná vůle rovna tloušťce materiálu, aby se dosáhlo čisté plochy bez zborcení a vln. [2]

2.1.9. Tažná rychlost [1]








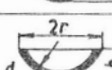
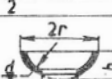

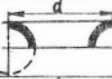
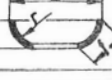
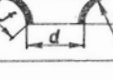
U moderních lisů můžeme měnit počet zdvihů v širokých mezích. Při běžném tažení nemá rychlost průběhu tažné operace přestoupit určitou hranici, aby nenastalo porušení výtažku, ikdyž např. při tažení explozí je dosahováno překvapujících výsledků tažením velkými rychlostmi. Hodnoty rychlostí pro tažení v běžných tažidlech jsou uvedeny v tabulce 3.

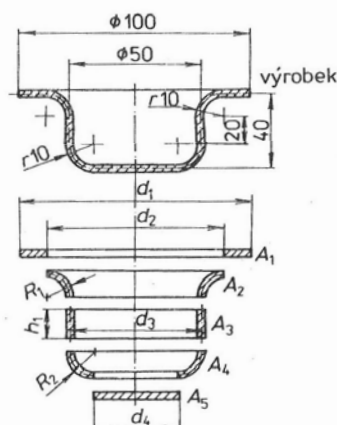
Tabulka 3. Příklady tažných rychlostí [1]

Tažený materiál	Tažná rychlost m.min ⁻¹
austenitická korozi-vzdorná ocel	7
nelegovaná ocel	17
hliník a jeho slitiny	25
měď a její slitiny	66

2.1.10. Velikost přístřihu [2]

Velikost přístřihu je v principu teoretický tvar zpětně rozvinutého výtažku. U válcové součásti je to rondel (kruh), jehož průměr se stanoví z rovnosti ploch výtažku a přístřihu (zákon o zachování objemu, rovnosti ploch). U plechu, kdy $t > 2$ mm se počítá rozvinutá plocha ze střední tloušťky. U nerotačních výtažků je stanovení rozvinutého tvaru složitější a bude popsáno v dalších kapitolách. Ztenčení se zanedbává, na ořezání výtažku se přidávají k jeho výšce až 10% z celkové plochy výtažku

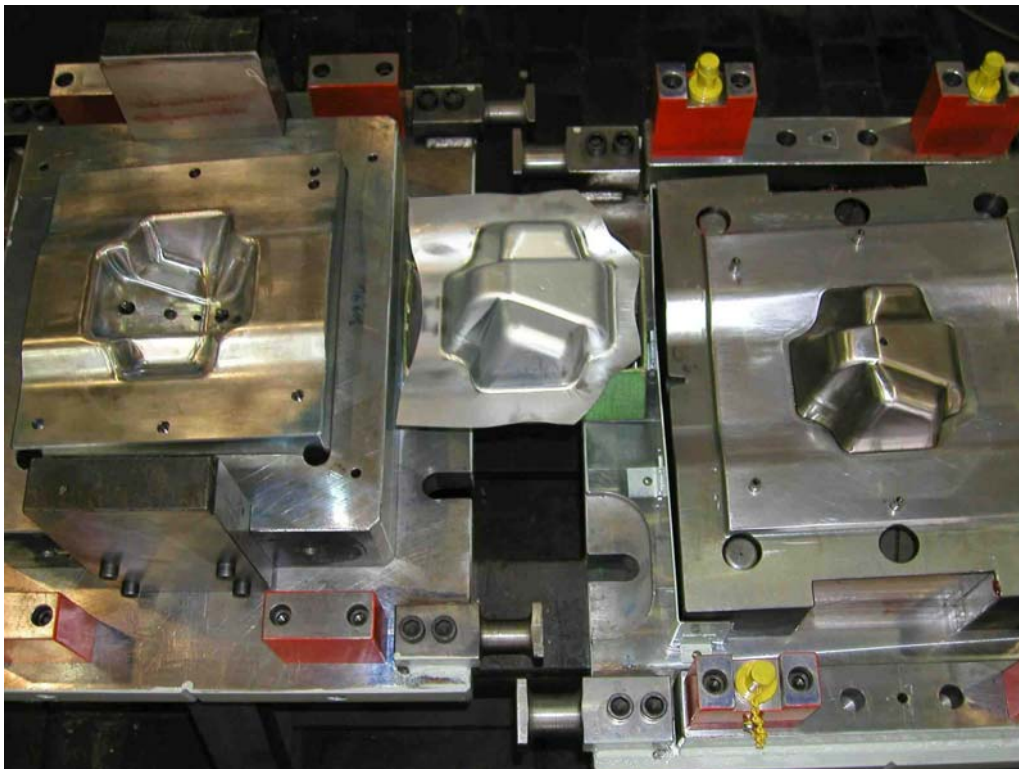
rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ kotouč
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)$ prstenec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} \cdot f \cdot (d + d_1)$ kornolý kužel
	$A = \pi \cdot d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$ kulová úseč
	$A = \pi \sqrt{4r^2 h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi \cdot d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$ konkávní prstenec (čtvrťina)
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$ konvexní prstenec (čtvrťina)
	$A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$ konkávní prstenec
	$A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$ konvexní prstenec



Obr. 4. Vzorce pro výpočet běžných základních ploch; výtažek rozdělený na jednotlivé základní prvky [1]

2.2. Tažení nerotačních výtažků

Jedná se o tvarově různorodé dílce jednak uzavřené, pravidelné či nepravidelné “krabice”, nebo dílce otevřené, u kterých jde v principu o tažení kombinované s ohybem. Příklady takových výlisků ukazují obrázky 5 a 6.



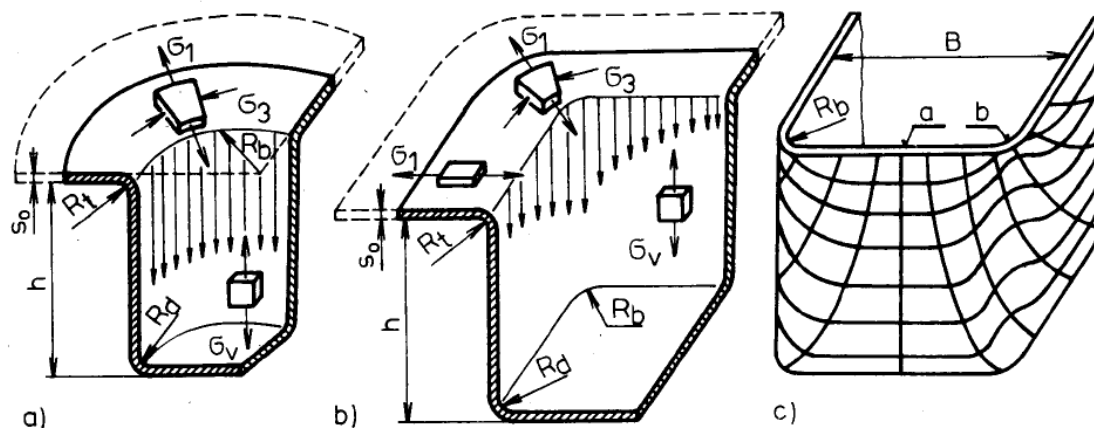
Obr. 5. Příklad tažení nerotačního výtažku – krytka [6]



Obr. 6. Příklad tažení nerotačního výtažku – část karosérie automobilu, dva zrcadlové dílce [6]

2.2.1. Nádoby obdélníkového a čtvercového tvaru, napjatosti [2]

Představují základní technologický tvar, který se vyrábí s přírubou či bez příruby. Průběhy napětí ukazuje následující obrázek 7, z něhož je patrné, že k tažení dochází jen v rozích, kdežto strany jsou tvořeny pouhým ohybem. Úseky se vzájemně ovlivňují, kdy stěny mají pozitivní vliv, protože částečně potlačují vznik vln v oblasti rohů.



Obr. 7. Porovnání - Napěťové schéma při tažení válcového-a), pravoúhlého výtažku-b), deformace (původně pravoúhlé) sítě na pravoúhlém výtažku-c) [1]

Příklad čtvercového výlisku je ukázán na obrázku 8, kdy byl tažen dřez.



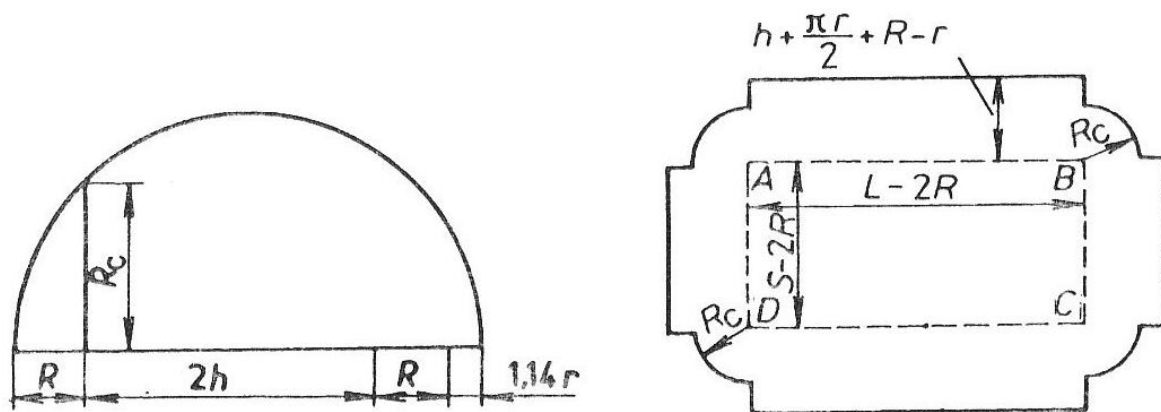
Obr. 8. Výlisek dřezu [6]



Obr. 9. Tažník pro lisování dřezu [6]



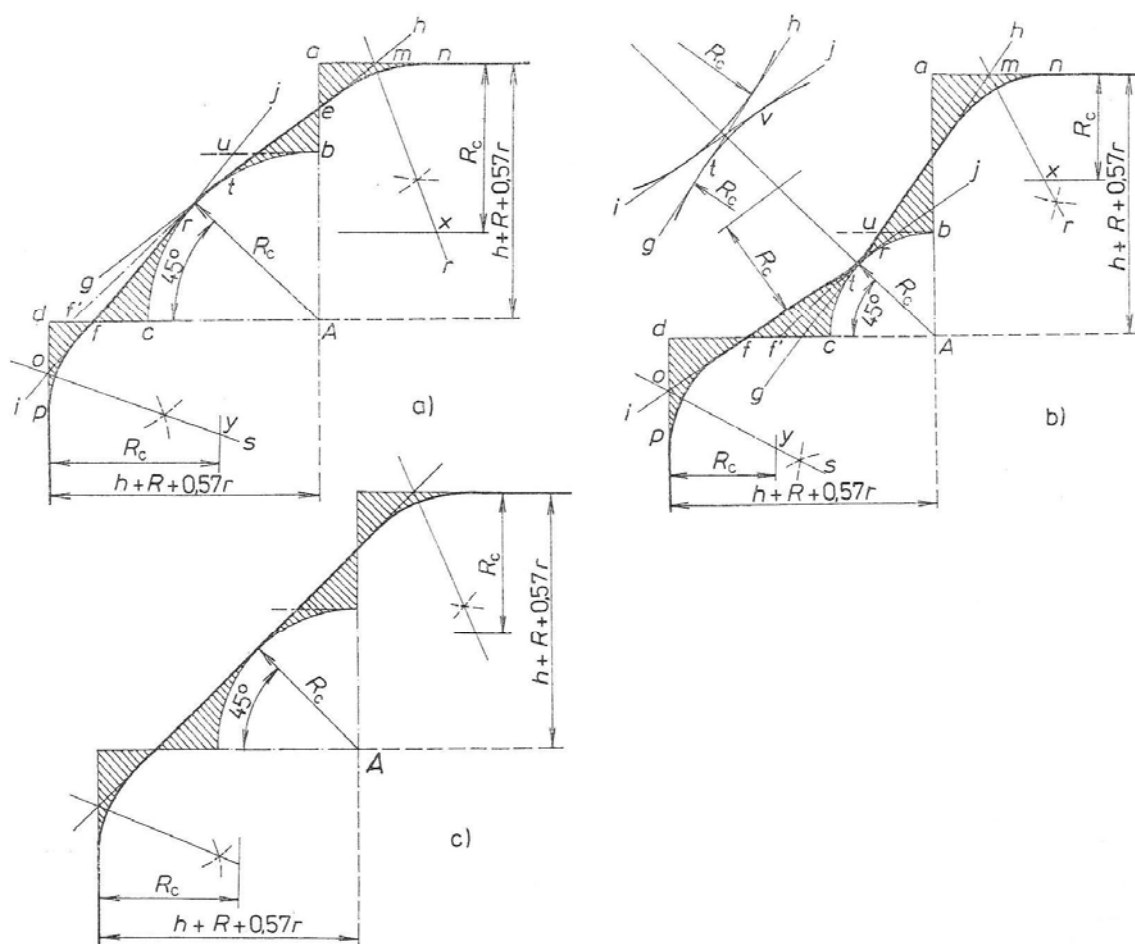
Obr. 10. Tažnice nástroje pro lisování dřezu [6]



Obr. 13. Grafické určení poloměru R_c a teoretický tvar přístřihu s postačujícím množstvím materiálu pro tažení obdélníkového výtažku [1]

Poloměr R_c lze vypočítat také ze vzorce $R_c = \sqrt{2R \cdot h + R^2 + 1,14R \cdot r}$ [mm] (13)

Teoretický tvar přístřihu však nelze použít, protože materiál uniká do stěn. Proto se přechody zaoblí poloměrem dle obr. 14., pak mohou vzniknout tři základní tvary rohů přístřihu, podle vzájemného poloměru hodnot R , r , h .

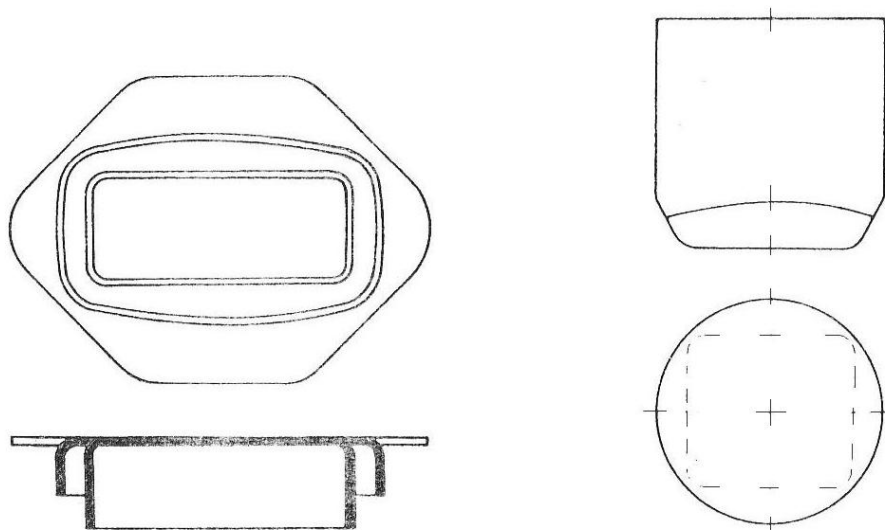


Obr. 14. Konstrukce tvaru rohu u nerotačních výtažků: a - tvar vypouklý; b - tvar vydutý; c - tvar rovný [1]

2.2.3. Určení počtu tažných operací, součinitel tažení [1]

Největší vliv na určení počtu operací má velikost zaoblení v rozích R a výšce výtažku. Na tom je přímo závislá výška výtažku, kterou lze v jednom tahu dosáhnout. Dosažitelná redukce u čtvercovitého tvaru je však podstatně větší než u rotačního výtažku, protože materiál uniká do stěn. V dalších operacích se redukce volí přibližně stejná, nebo jen málo postupně klesající.

Někdy je výhodné v prvním tahu stěny výtažku trochu zaoblit a teprve v následujícím tahu je vyrovnat, tím se při tažení nejenom pouze ohýbají, ale i poněkud táhnou, a tak se podmínky pro tažení zlepšují. U čtvercových výtažků lze první tah někdy provést zcela rotační se čtvercovým zakončením čela (viz obr. 15.). Toto lze použít i tam, kde je třeba k dokončení výtažku více tahů než dvou.



Obr. 15. Zaoblené strany prvních výtažků; válcové výtažky pro první tah čtvercového tvaru [1]

Součinitel tažení m pro hranaté výtažky je obdobou součinitele tažení válcových výtažků. Vychází z rohové části a je dán jako poměr

$$m = \frac{r_1}{R_0} \quad [-] \quad (14)$$

kde r_1 – poloměr zaoblení výtažku [mm]
 R_0 – redukovaný poloměr přístřihu [mm]

Norma uvádí tyto hodnoty součinitelů tažení přístřihů z ocelového hlubokotažného plechu:
bez přidržovače: $m_1 = 0,75 \div 0,9$
s přidržovačem: $m_1 = 0,25 \div 0,4$

2.2.4. Tažný poloměr [1]

U tažnic je tažný poloměr přibližně stejně velký, jako u tažnic pro výtažky rotační tj. $(6 \div 10) \cdot t$. Větším poloměrem se námaha kovu snižuje, ale zvětšuje se cípatost okrajů. Zaoblení u dna, táhneme-li s přidržovačem, nemá být menší než dvojnásobek tloušťky materiálu. U materiálů větší tloušťky je vhodné zvětšit zaoblení dna v rozích až na dvojnásobek zaoblení dna podél rovných stěn.

2.2.5. Tažná vůle [1]

Tažná vůle se rovná tloušťce materiálu. Pro první tahy je poněkud větší asi 1,1 násobek tloušťky. Větší vůle se také používá v rozích u posledního tažidla při větším počtu operací, aby byl výtažek v rozích pevnější a materiál se méně zeslabí.

Tažná mezera v podélné stěně

$$zm_n = (1,15 \div 1,3)t \quad [\text{mm}]$$

Tažná mezera v rozích

$$zm_m = (1,3 \div 1,4)t \quad [\text{mm}]$$

2.2.6. Velikost tažné síly [1]

Maximální velikost tažné síly, při které se ještě netrhá dno, vypočteme stejně jako u tahů rotačních součinem obvodu, tloušťky a pevnosti materiálu v tahu. Za předpokladu, že v rozích výtažku dochází k tažení a v rovných stěnách k ohybu lze použít vzorec:

$$F_{t_{\max}} = t \cdot R_m \cdot (2\pi \cdot R \cdot C_1 + L \cdot C_2) \quad [\text{N}] \quad (15)$$

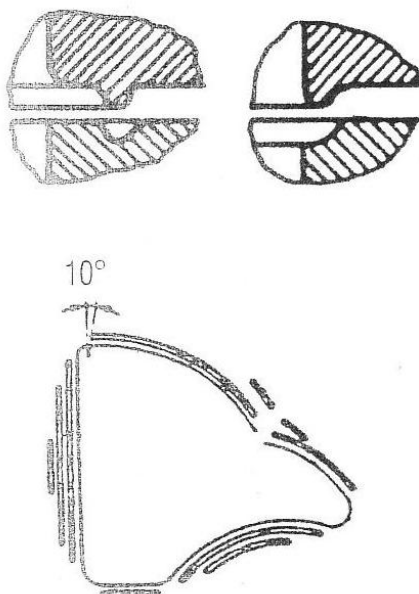
kde L – součet délek přímých částí stěn výtažku [mm]

R – poloměr zaoblení hran výtažku [mm]

C_1, C_2 – konstanty závislé na provedení tažidla, mazání, druhu a kvalitě taženého plechu atd. [-]

2.2.7. Brzdná žebra [2]

Zcela nepravidelné výtažky jsou v procesu tažení vystaveny značně nerovnoměrné napjatosti. Často dochází ke zvlnění v určitých místech, proto je třeba v odpovídajících úsecích tok materiálu přibrzdit (plech vypnout), v jiných úsecích zase uvolnit. To umožňuje např. zvětšení plochy přidržovače, nebo užití brzdného žebra. Jehož provedení znázorňuje následující obrázek. Je zřejmé, že přímé úseky, které se rychleji vytahují, mohou mít i vícenásobná žebra (viz obr. 16.).



Obr. 16. Ukázka použití brzdných žebíř [2]

2.2.8. Konstrukce tažidel pro nerotační výtažky [1]

Nerotační výtažky lze táhnout jak na jednočinných, tak i na dvoučinných lisech. V prvních tazích dle složitosti výtažku je polotovár pouze tažen nebo se použijí sdružená tažidla, v nichž se polotovár vystřihuje a zároveň táhne. Druhé a další tahy se provádějí podobnými tažidly. Jejich konstrukce se liší od tažidel pro rotační tvary výtažků tím, že v tažnici je upraveno zapuštění podle tvaru předcházejícího výtažku. Pro druhé a další tahy je nutno téměř vždy použít přidržovače, který zabraňuje borcení výtažku. Bez přidržovače lze provádět jen malé redukce u výtažků dostatečné tloušťky. Větší redukce se bez přidržovače dají dosáhnout zpětným tažením.

Průběh výroby nerotačního výtažku pak obecně může vypadat takto:

- 1.operace – tah
- 2.operace – ostříh + děrování
- 3.operace – kalibrace
- 4.operace – přesné děrování + stříhání
- 5.operace – označení



Obr. 17. Výroba tažnice pro lisování dveří automobilu [6]

Jelikož tažení výtažků nepravidelného tvaru je značně složité navrhují se nástroje tak, aby se všechny důležité části daly upravovat. Dělené střížné vložky jsou uchyceny stejně jako tažné vložky tak, aby si daly vyjmout i z nástroje, který je již ustaven v lisu. Úpravy se provádějí například navařováním a následným opracováním do požadovaného tvaru (viz obr. 18.), nebo v případě malých vůlí podkládáním podložnými deskami o větší tloušťce.



Obr. 18. Doladřování tvaru tažníku pro lisování dveří automobilu, úprava navařováním [6]

2.3. Simulace tažení na počítačích [5]

Simulace tažení na počítačích je moderní metoda, která značně usnadňuje konstrukci tažných nástrojů, snižuje míru zmetkovitosti a tím i náklady. Během několika minut je simulační software schopen zjistit, zda je daný díl vyrobitelný a kde se nachází kritická místa na nástroji resp. výtažku.

Používá se pro navržení nejvhodnějšího tvaru dosedacích ploch tažníku a tažnice, při dané tažné síle. Také díky němu je možno navrhnout nejvhodnější přístřih, kdy se ušetří značné množství materiálu.

Simulace dokáže odhalit nebezpečná místa na výtažku, jako je nepřípustné ztenčení, zkroucení, či zvlnění materiálu výtažku. Ukáže i míru přetvoření materiálu.

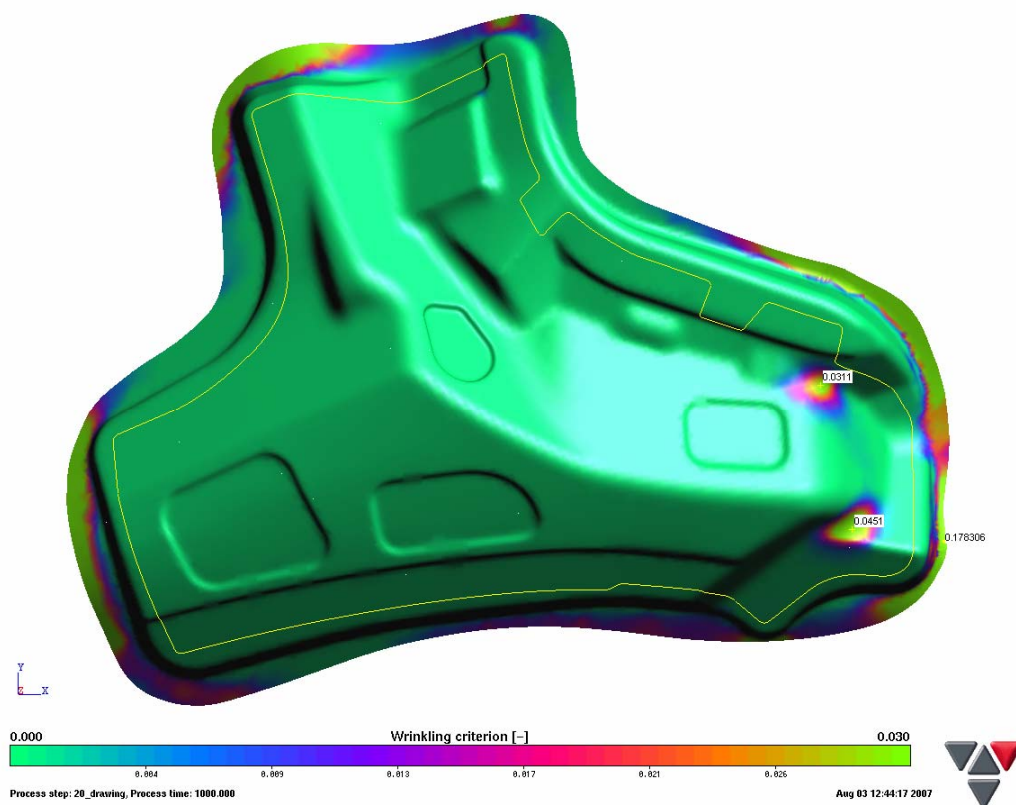
Poté, co se namodelují správné tvary tažníku a tažnice a simulace vykazuje výtažek bez vad, přistoupí se k samotnému konstrukčnímu řešení nástroje. Přesto simulace nezaručuje výrobu dokonalého nástroje, a proto nástroj prochází zkouškami, kdy se tvar dále doladřuje. Jedná se o zdoluhavý proces vyžadující značné zkušenosti.

Simulační software má nástroje, které se využívají pro:

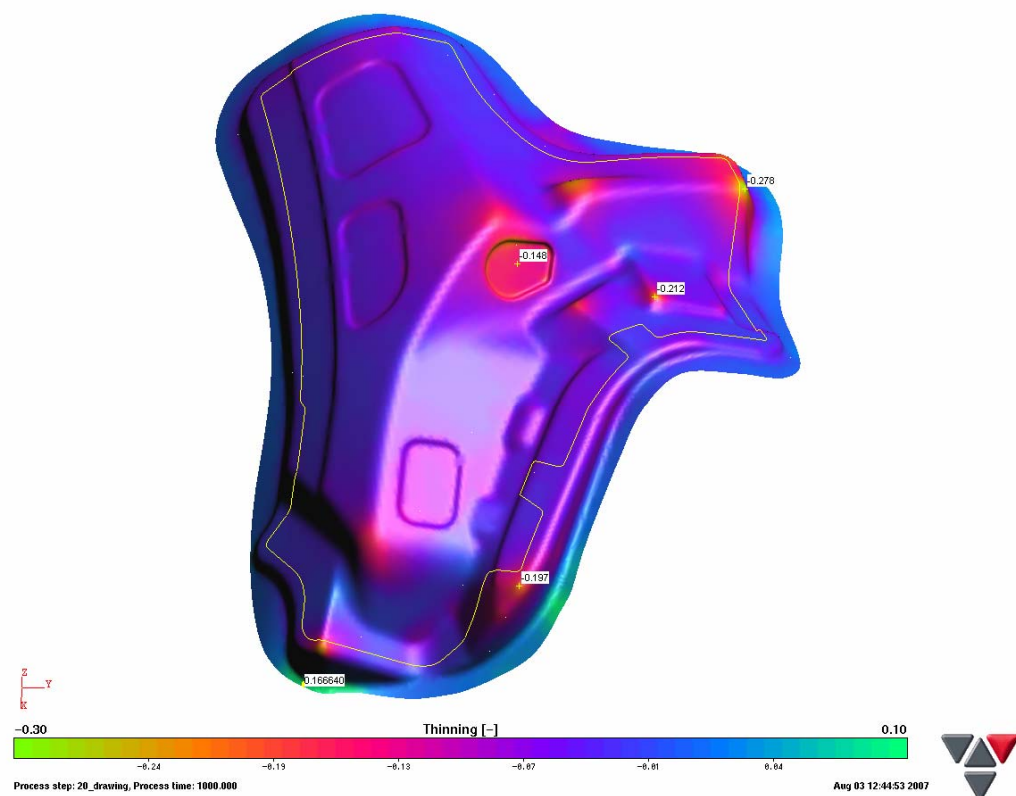
- kontrolu lisovatelnosti a základní stanovení počtu tažných operací;
- rozvíjení výlisků do roviny (stanovení přístřihu);
- rychlé modelování a úpravu pomocných ploch v okolí výlisku;
- přesnou simulaci tažení pro stanovení technologických sil a detailní ověření metody lisování.

Programy využívají různých numerických metod například Autoform membránovou teorií, PamStamp pak skořepinový model. Grafické výstupy z programu Autoform ukazují následující obrázky 19 - 24.

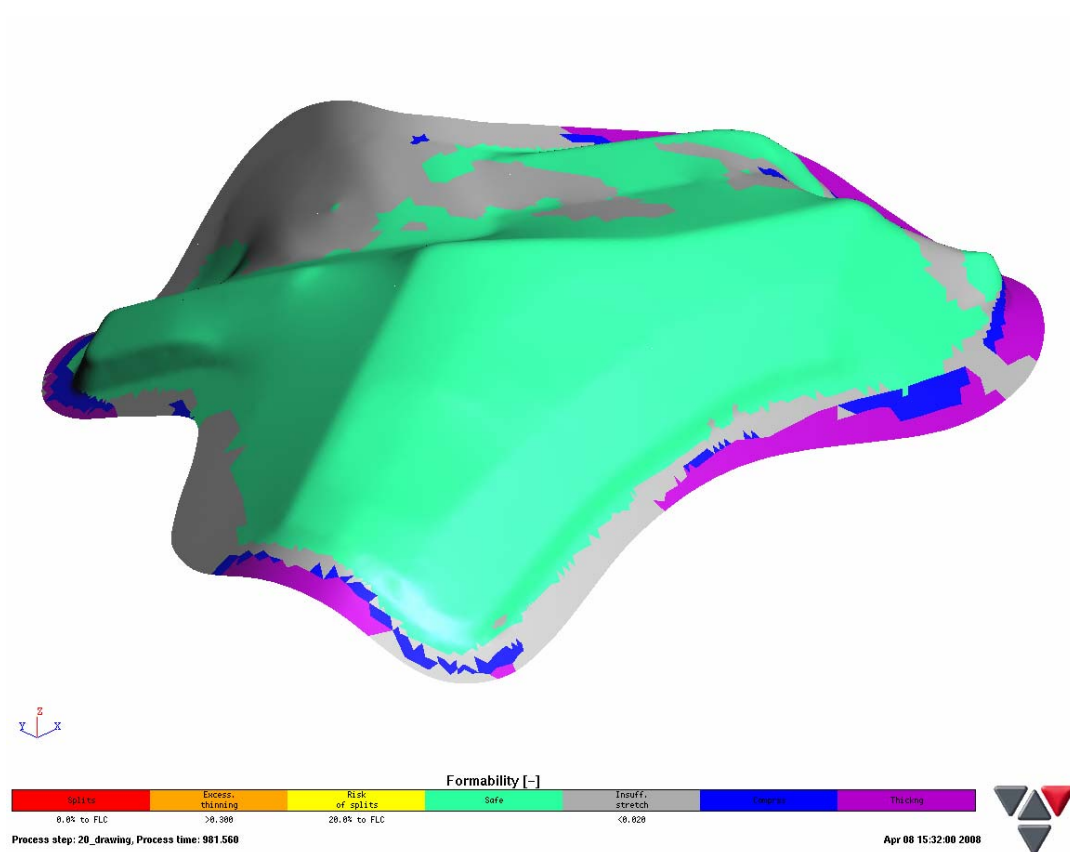
Obrázek 19. ukazuje míru zvlnění výlisku, kdy zelená barva představuje plochy bez zvlnění, přechod modré pak mez přípustného zvlnění a žlutá již nepřipustné zvlnění.



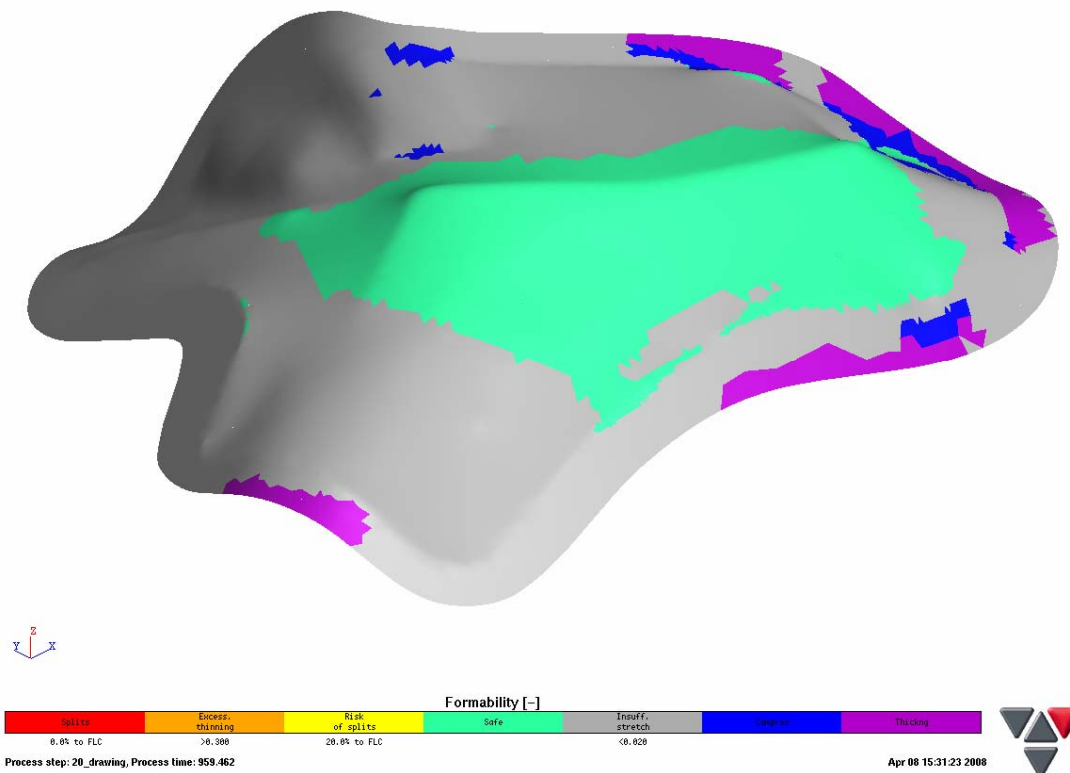
Obr. 19 Ukázka míry zvlnění výlisku (Autoform) [6]



Obr. 20. Ukázka míry ztenčení výlisku, přechod červené a žluté barvy ukazují místa s kritickým ztenčením materiálu výlisku -> nebezpečí trhlin (Autoform) [6]



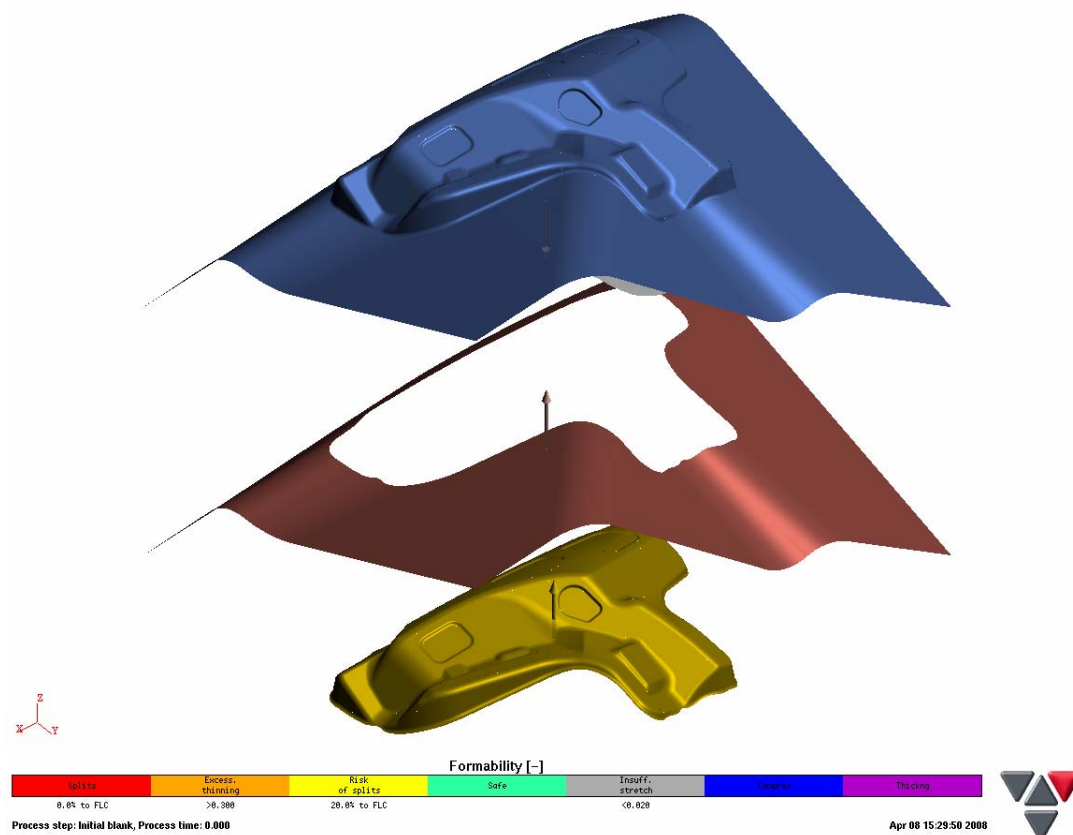
Obr. 21. Ukázka míry přetvoření materiálu-ve výšce 20 mm před dolisování, šedé plochy nejsou přetvořené, zelené bezpečně přetvořené, přechod modré stlačení, napěchování materiálu (Autoform) [6]



Obr. 22. Ukázka míry přetvoření materiálu-ve výšce 50 mm před dolisování (Autoform) [6]



Obr. 23. Návrh geometrie tvaru dosedacích ploch (Autoform) [6]



Obr. 24. Tažnice, odpad, tažník (Autoform) [6]

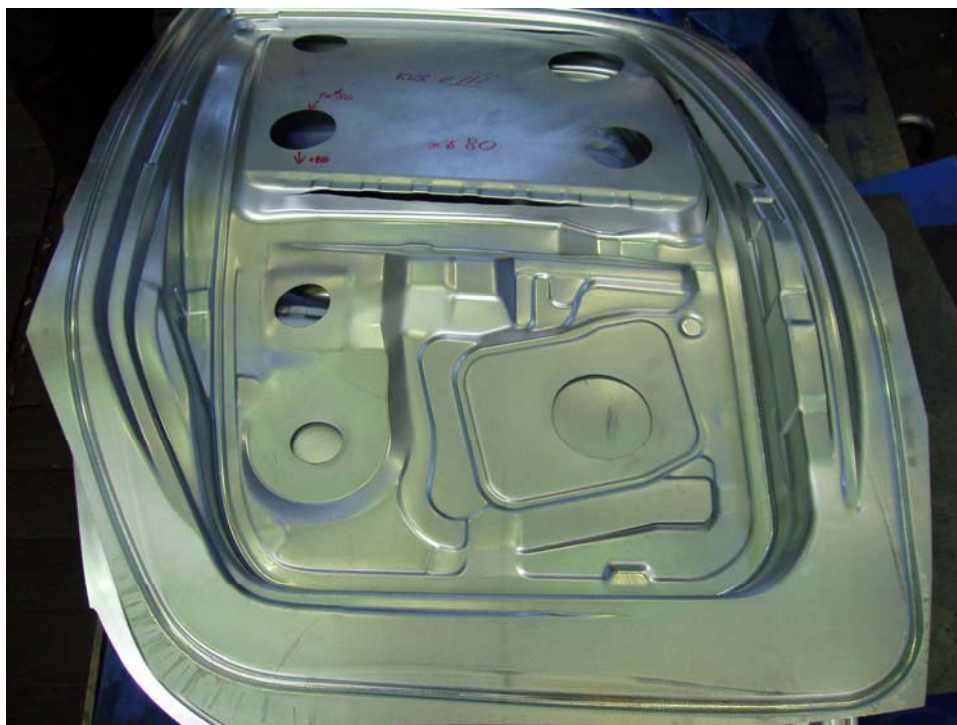
2.4. Vady a nedostatky při tažení nerotačních součástí

Při tažení dochází k vadám výtažku (trhliny, otlaky apod. - viz obr. 25, 26, 27), převážně z důvodů špatného konstrukčního řešení nástroje, použití nevhodného materiálu výtažku, nebo nevhodnou obsluhou při tažení (špatné zakládání přístřihu, nedokonalé mazání).

Odstraňování vad se provádí další úpravou tvaru dosedacích ploch, úpravou brzdných žeber (změna tvaru, či množství), přidáním dalších konstrukčních prvků jako jsou uvolňovací otvory (viz obr. 26.).



Obr. 25. Protržení v rohu části výtažku [6]



Obr. 26. Protržení rohu, návrh posunutí uvolňovacích otvorů u výtažku dveří automobilu [6]



Obr. 27. Otlak na výtažku [6]

2.5. Mazání [4]

Ke snížení tření, tedy i tažné síly a ke zlepšení kvality povrchu, se používá mazání. Nemaže se celý přístřih. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší. Ze strany tažnice je potřeba tření co nejvíce snížit. Mezi přidržovačem a materiálem je nutno použít maziva nejlepší kvality pro daný tažený materiál. Prostředky, které se používají pro mazání nesmí poškozovat povrch nástroje a výrobku, musí lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu.

Nejčastěji používaná maziva [1]:

- grafit – tuhé mazivo, používá se pro nejobtížnější tváření, ale hůře se odstraňuje
- lanolin a lůj – při zvýšených povrchových teplotách nástroje má lepší viskózní vlastnosti než minerální oleje
- hypoidní maziva – směsi minerálních olejů se sloučeninami obsahujícími síru a chlor
- mýdlová maziva – tuhá, polotuhá, tekutá, podle pracovní teploty. Jsou to směsi solí, mastných kyselin a kovů (sodík, vápník, chrom apod.).

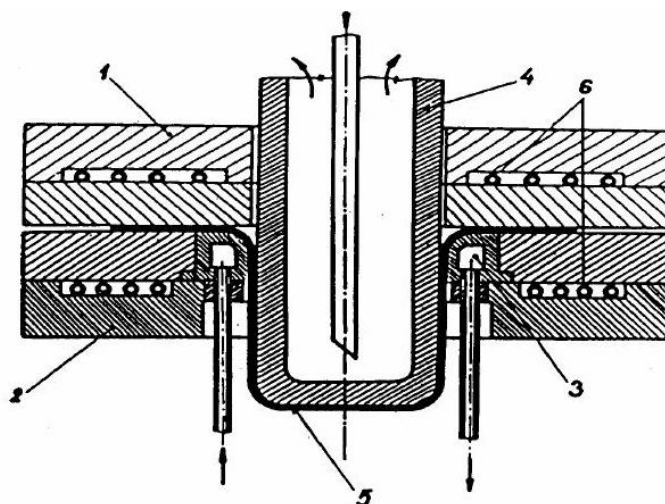
Volba vhodného druhu maziva závisí na:

- velikosti tvářecích tlaků
- provozní teplotě
- požadované intenzitě mazání s přihlédnutím na chlazení tažidla
- pracnosti a nákladech na nanášení a odstranění maziva

2.6. Speciální metody tažení

2.6.1. Tažení výtažku s ohřivanou přírubou [3]

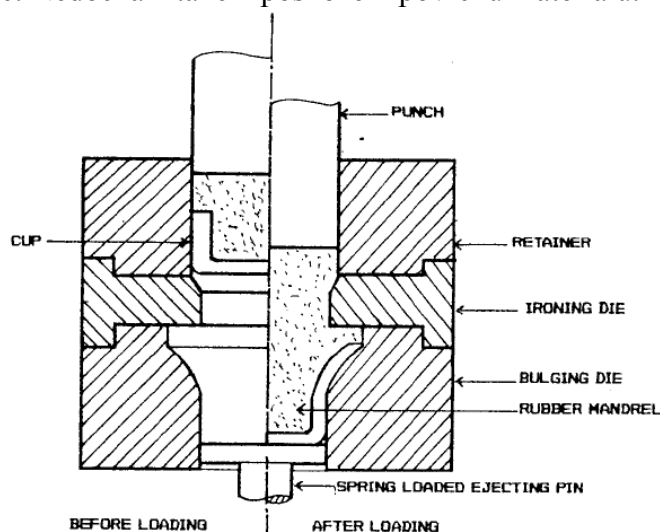
Prakticky celá deformace při hlubokém tažení se odehrává v přírubě taženého polotovaru. Ohřevem příruby lze snížit přetvárný odpor materiálu a snížit tak tažné napětí přenášené stěnou kalíšku. Ve stěně kalíšku musí mít materiál co možná nejvyšší únosnost, proto zde musí být materiál již ochlazen. Tažná hrana nástroje a tažník jsou tedy naopak chlazeny.



Obr. 28. Tažný nástroj pro tažení s ohřevem příruby; 1 - přidržovač, 2 - tažnice, 3 - chladicí kanál, 4 - tažník, 5 - výtažek, 6 - ohřívací články [3]

2.6.2. Tažení nepevnými nástroji [3]

Jeden z tažných nástrojů, tažníku nebo častěji tažnice, která je dražší, je nahrazen „nepevným“ pružným (pryž, polyuretan atp.) nebo kapalným (voda, olej, emulze) prostředím. Tažení pryží se využívá zejména v prototypové a malosériové výrobě rozměrných, tenkostěnných výtažků na příklad při vývoji automobilových karoserií. Drahá tažnice je nahrazena pryží a tažník může být vyroben z lehkých slitin, vrstvených materiálů nebo plastů, což dále snižuje náklady. Je možné použít jednočinných lisů, protože pryžový polštář nahrazuje i přidržovač. Nedochozí také k poškození povrchu materiálu.

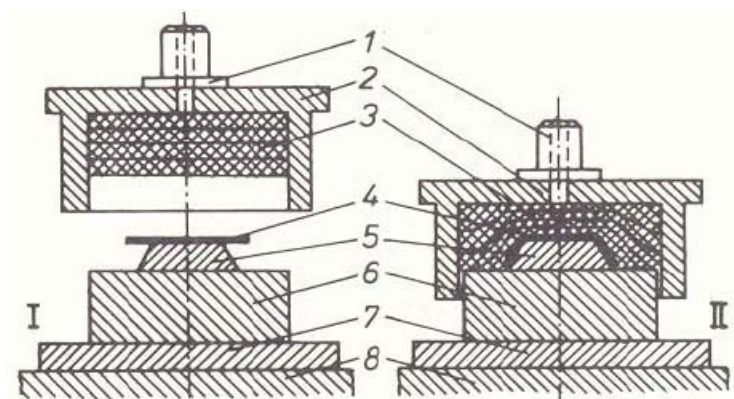


Obr. 29. Nástroj pro ztenčování a rozšiřování pružným tažníkem [3]

2.6.3. Metoda GUERIN [4]

Tato technologie je vhodná pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení. Princip metody je založen na elasticitě pryže, která je v ocelové skříni. Tažnice, tvořená vrstvami pryže, se pohybuje proti pevnému tažníku. Táhně se bez přidržovače. Metoda je vhodná pro mělké výtažky. Pro univerzální tažnici lze použít tažníků o různých rozměrech a tvarech, životnost nástroje, je vzhledem k namáhání pryže, dosti nízká.

Výhodou je, že pryž nezanechává na povrchu žádné stopy. Nevýhodou je potřeba velkých sil, i když velké tlaky působí kladně na zvýšení plasticity. Je možné používat všechny typy lisů. Pryž se používá o různé tvrdosti, pro stříhání je tvrdost vyšší, než pro tažení.

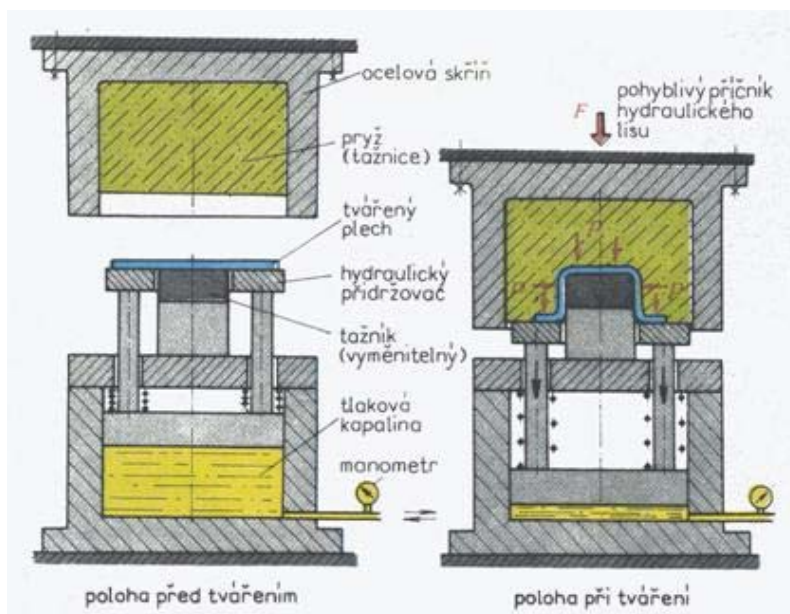


Obr. 30. Tažný nástroj pro tažení pryží

1 - upínací stopka, 2 - skříň, 3 - pryžový polštář, 4 - tvářený materiál, 5 - tažník, 6 - spodní deska, 7 - základová deska, 8 - stůl lisu GUERIN [3]

2.6.4. Metoda MARFORM [3]

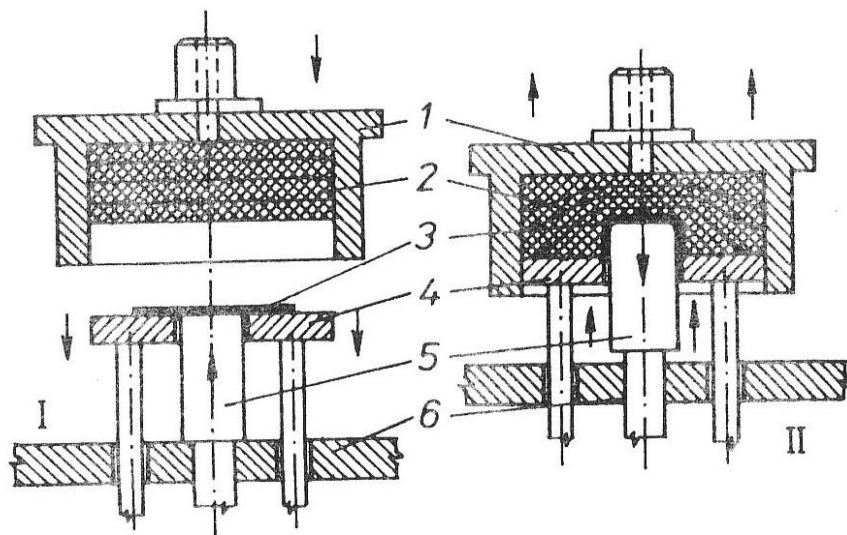
Je vylepšenou formou předchozí metody. Rozdíl je ve vrstvě pryže, která je zde větší. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška výlisku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže. Tažník se pohybuje proti tažnici viz obr.31. Metoda je vhodná pro hluboké tahy, protože používá přidržovače. Přidržovač je ovládán hydraulicky a přitlačná síla je regulována, v závislosti na zdvihu, pomocí mechanické vazby, přepouštěcím ventilem.



Obr. 31. Schéma nástroje pro tažení metodou MARFORM [4]

2.6.5. Metoda HIDRAW [1]

Jedná se o kombinaci systémů Marform a Hydroform. Vyznačuje se pohyblivým přidržovačem, tažníkem i tažnicí. Tento systém nemá oproti jiným způsobům tváření pryží žádné výrazné výhody a jelikož jsou u něj všechny součásti pohyblivé, jsou tažidla dražší než u jiných systémů.

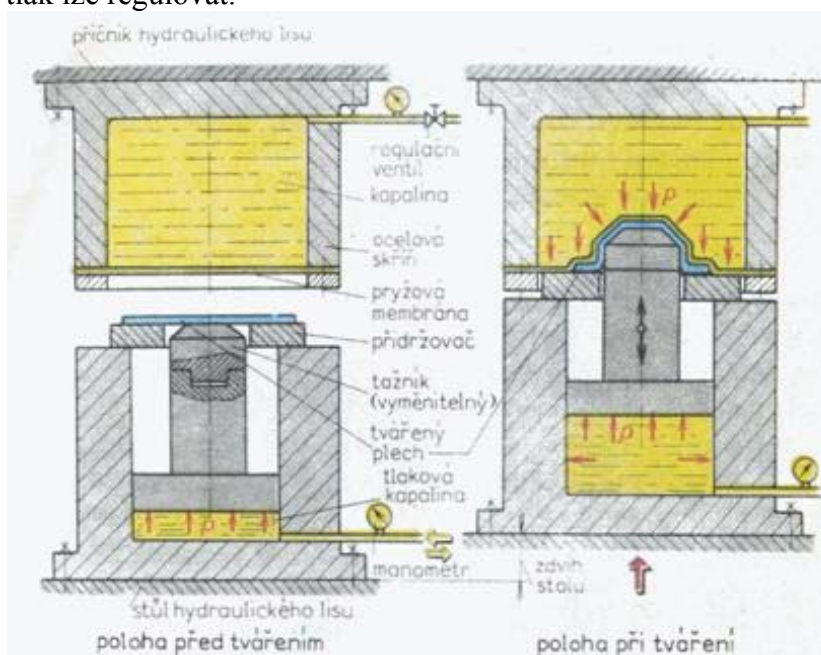


Obr. 32. Schéma nástroje pro tažení metodou HIDRAW

1 – skříň, 2 – pryžový polštář, 3 – přístřih materiálu, 4 – přidržovač, 5 – tažník, 6 – spodní deska [1]

2.6.6. Metoda HYDROFORM [3]

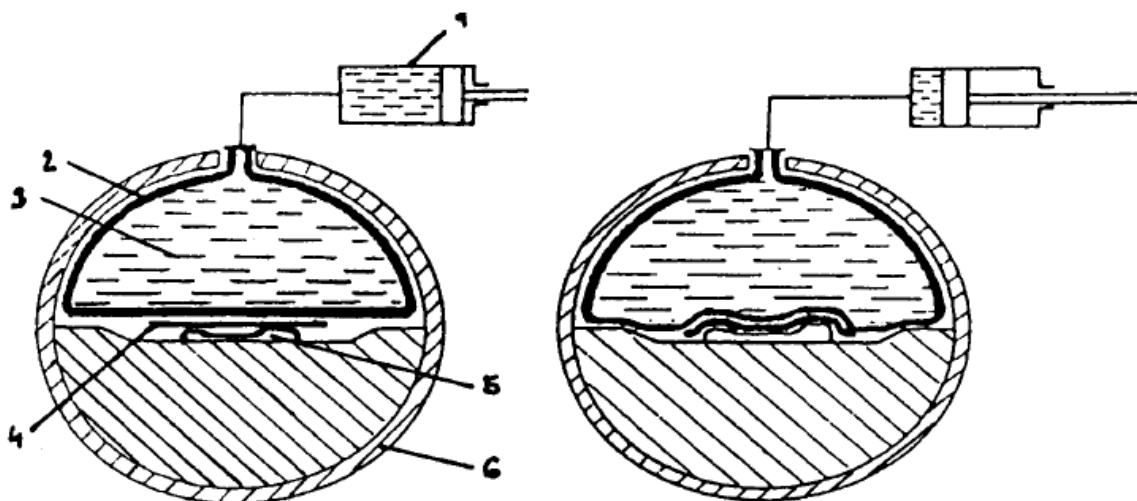
Tato technologie je podobná metodě Marform, také se používá pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřená poměrně tenkou deskou z gumy. Nejdříve se přitlačí přidržovač na tažený materiál, aby se nezvlhnily okraje a potom se tažník vtlačuje do nádrže a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští přepouštěcím ventilem. Hydrostatický tlak lze regulovat.



Obr. 33. Schéma nástroje pro tažení metodou HYDROFORM [4]

2.6.7. Metoda WHEELON [3]

Je variací předcházející metody. Oba nástroje jsou umístěny ve válcovém tělese. Tlak kapaliny (až 45 MPa) je vyvozován hydraulickým válcem. Metoda se užívá k tažení mělkých výtažků.

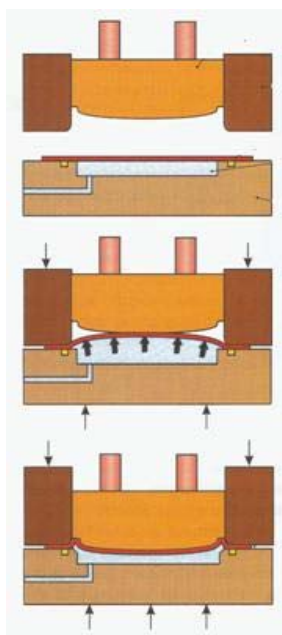


Obr. 34. Vlevo - před tažením, vpravo - po tažení
1 - hydraulický pracovní válec, 2 - pryžový vak, tlakové medium, 4 - polotovar,
5 - tažník, 6 - těleso nástroje

2.6.8. Hydromechanické tažení [4]

Pro tváření s požadavkem většího zdvihu (např. hlubší tah) je jako pružné prostředí výhodnější tlaková kapalina. Proces bývá často uváděn pod názvem hydromechanické tažení - a lze při něm s úspěchem používat i přidržovače.

Princip je založen na tom, že rovinný přístřih plechu je sevřený mezi přidržovačem a tažnicí, může se však pohybovat. Tažník tváří plech do tažné komory, kde je však kapalina. Kapalina působí hydrostatickým tlakem na plech, který se tlačí na celou plochu tažníku. Tlak se řídí speciálním ventilem. Proti úniku kapaliny se používají kvalitní těsnění. Tření a ztenčení je nepatrné.



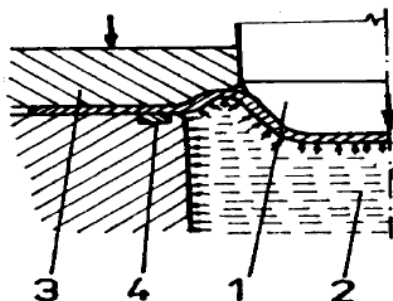
Obr. 35 Schéma principu hydromechanického tažení [4]

Výhody hydromechanického tažení jsou [3]:

- vysoké deformace, dosahované příznivému napětovému stavu za účasti tlakových napětí
- možnost tažení složitých výtažků
- tažení hlubokých výtažků
- malá změna tloušťky stěny ($2 \div 3\%$)
- možnost táhnout povrchově upravené plechy (nedochází k poškození povlaku)
- levnější nástroj pro malé série výtažků

Nevýhody [3]:

- lze táhnout jen výtažky s přírubou
- vysoký přidržovací tlak (kvůli těsnění)
- nutnost používat tlakové hydraulické prvky
- nižší produktivita



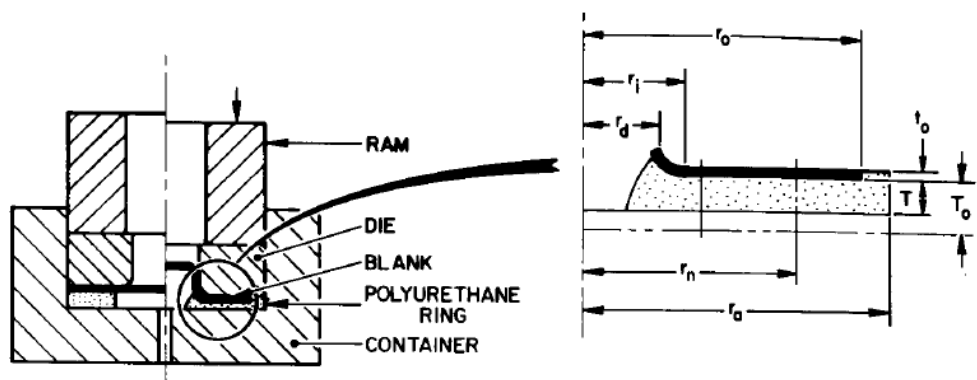
Obr. 36. Princip nahrazení tažné hrany protivlnou vytlačenou tlakovým médiem
1 - tažník, 2 - tlakové médium, 3 - přidržovač, 4 - těsnění [3]

Variací hydromechanického tažení je systém AQUADRAW. Funkce klasické tažné hrany je u něj zachována a tažná hrana je mazána průnikem tlakové kapaliny. [3]

2.6.9. Tažení „bez tažníku“ [3]

Maslenikov navrhl nahradit tažník pryžovým kroužkem (viz obr. 37.). Podle dalších autorů, pak byla pryž s úspěchem nahrazena lehce tavitelnými kovy.

Princip metody spočívá v tom, že materiál je do tažnice místo tažníku vtahován třením mezi polotovarem a měkkým kroužkem. Protože síla ke zplastizování příruby není (jak tomu je při použití tažníku) přenášena stěnou výtažku je možno docílit vysokých deformací. Bylo dosaženo stupně tažení až $K = 6$ (proti běžným cca $K = 2$).



Obr. 37. Tažení „bez tažníku“ – Maslenikov [3]

2.6.10. Explosivní tažení kovů [1]

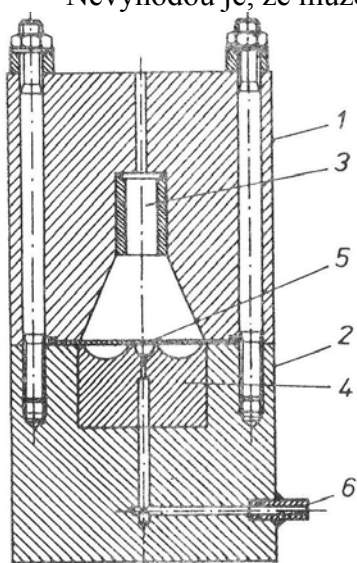
Při tváření kovů výbuchem se využívá nárazové vlny a tlaku plynů vzniklých explozí. Pečlivou volbou množství a druhu výbušniny lze tlak plynů i stupeň deformace kontrolovat tak, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku. Pracovní operace trvá 1-2 tisíce sekund. Nízké výrobní náklady zvyhodňují explosivní tváření zvláště pro velké součásti. Největší potíže jsou s odstraňováním vzduchu mezi plechem a tažnicí, který působí jako tlumič. Odstraňuje se vhodnými odvzdušňovacími otvory, nebo se odčerpává.

Existují dvě metody tváření explosivními tlaky:

- užití tlaku spálené směsi v uzavřeném nástroji
- užití brizantních trhavin v otevřeném nástroji
-

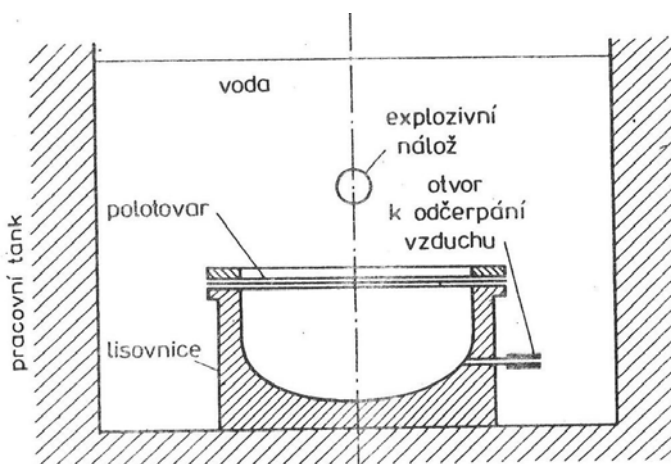
Výhody - nízké náklady, zanedbatelné dopružování materiálu, přesnější tolerance výlisku a dosažení zvýšené tažnosti kovu, není nutno žíhat mezi operacemi pro odstranění zpevnění kovu způsobené deformací kovu.

Nevýhodou je, že můžeme táhnout jen na volném prostranství.



Obr. 38. Tažení výbuchem [1]

1 - horní díl, 2 - spodní díl, 3 – rozbuška,
4 – tažnice, 5 – přístřih, 6 - odsávací otvor



Obr. 39. Tažení explozí [1]

2.6.11. Elektromagnetické tažení [1]

Výhod velkých rychlostí a tlaků užívá i elektromagnetické tváření. Čím je kov vodivější pro elektrinu, tím lépe se elektromagneticky tváří. Proces má tu výhodu, že je bezpečný a může probíhat v běžném provozu.

2.6.12. Elektrohydraulické tažení [1]

Tváří se elektrickým výbojem pod vodou. Přeskokem elektrické jiskry v nevodivém kapalném prostředí vznikne tlaková vlna, jejíž energie je schopna tvářet kovové výtažky. Výhodami jsou opět větší bezpečnost oproti explosivnímu tváření, možnost přesnější kontroly dávkování energie a nízké náklady.

2.7. Materiály vhodné pro tažení

Na schopnost materiálu se plasticky deformovat bez porušení a bez lokální ztráty stability, má základní vliv chemické složení, struktura, velikost a tvar zrna, což je výsledek metalurgických a válcovacích pochodů ve výrobě. Výrobou získané vlastnosti se mohou dále měnit vlivem stárnutí.

Často se určují a srovnávají materiály pomocí hodnot získaných při tahové zkoušce a ukazatelů z nich spočítaných. Patří mezi ně mez kluzu, mez pevnosti a jejich vzájemný poměr, tažnost, kontrakce a především hodnoty exponentu zpevnění a součinitele normálové anizotropie, které jsou pro hodnocení plechů nejvýznamnější. O chování plechů v různých směrech vypovídají hodnoty plošné anizotropie.

Obecně se rozlišují z hlediska tvařitelnosti čtyři skupiny plechů:

MT - jakost vhodná k mírnému tažení,

ST - jakost vhodná ke střednímu tažení

HT - jakost vhodná k hlubokému tažení

VT - jakost vhodná k velmi hl. tažení.

Zařazení jednotlivých druhů plechů do těchto skupin probíhá na základě mechanických vlastností a chemického složení. Přesnějšího zařazení lze dosáhnout na základě dalších kritérií tvařitelnosti (metalografická analýza, koeficient plošné a normálové anizotropie, exponent zpevnění, mezní křivky deformace atd.). Z hlediska mechanických vlastností jde o ocelové plechy s mezí kluzu ($220 \div 280$) MPa, s mezí pevnosti ($290 \div 520$) MPa a tažností ($25 \div 36$) % s obsahem C ($0,07 \div 0,20$) % a Mn ($0,40 \div 0,80$) %. Před samotnou výrobou je nutno otestovat dodaný materiál, splňuje-li předepsané požadavky. Liší-li se vlastnosti, třeba z důvodu stárnutí materiálu může dojít k tomu, že daný výlisek se nedá vylisovat.

2.7.1. Tažení korozivzdorné oceli [1]

Tato ocel má vysokou tažnost, ale její vysoká pevnost a rychlé zpevňování tvářením za studena vyžadují jiný pracovní postup a vyšší tažnou sílu. Chromoniklové korozivzdorné oceli je také nutno častěji žíhat, jelikož se velice rychle zpevňují. Při jejich tažení se užívá obvykle velmi malých tažných rychlostí, asi $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro první tah se užívá 40% redukce, pro následující tah ($20 \div 25$) %.

Protože zpracováváný materiál je pevnější musí být i tažidla robustnější. Vhodným materiálem pro tažnici je například tvrdý bronz, tepelně zpracovaná chromniklová litina, tvrdě chromovaná nástrojová ocel nebo také slinutý karbid a keramické hmoty. Běžné nástrojové oceli se používají bez úprav jen pro zcela mělké výtažky. Pro velmi hluboké tažení se zhotovuje tažnice z tvrdého bronzu. U hlubokých výtažků se vyžaduje hladký povrch, proto musí být z tohoto materiálu i tažník a přídržovač.

Při tažení výtažků z korozivzdorné oceli v několika po sobě jdoucích operacích je výhodou upravit jejich sled. Výtažky mezi jednotlivými operacemi nesmějí dlouho ležet, protože na nich snadno vznikají při tvářením za studena pnutím mikroskopické trhlinky. Výtažky se redukuje lépe, jsou-li ještě zahřáté z předcházející operace.

Pro velké série je výhodné použít pro pracovní části nástrojů slinutý karbid. Slinutý karbid je téměř jediný vhodný materiál pro tažnice při redukci tloušťky stěny výtažku z korozivzdorné oceli, protože se na něm výtažky nezadírají a přitom výborně vzdoruje opotřebení.

2.7.2. Tažení mědi a jejích slitin [1]

Slitiny mědi se táhnou snadněji než měkké oceli a zároveň tažná rychlost může dosahovat až $66 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U tažidel pro slitiny mědi je důležité dosáhnout vysokého lesku tažnice, kterou je výhodné lapovat ve směru tažení kovu. Tažníky se obvykle neleští, aby se udržela snáze kontrola pohybu kovu při tažení. Tvrdé chromování tažnic a tažníků je vhodné, protože snižuje tření a zadíráání kovu při tažení.

Jsou-li výtažky taženy v několika operacích po sobě bez mezižhání, zpevní se materiál výtažku natolik, že další tváření je neekonomické a na víc vzniká nebezpečí vzniku mikroskopických trhlinek na výtažcích. Žhání probíhá při nejnižší možné teplotě pro danou slitinu, jelikož vyšší teploty způsobují korozi povrchu výtažku.

2.7.3. Tažení hliníku a jeho slitin [1]

Je velmi rozšířené protože těchto materiálů se stále více používá ve všech průmyslových odvětvích. Pro jednoduché tvary výtažku a menší redukce se vystačí s běžnými způsoby tažení, ale při větších redukcích nebo je-li vyžadováno několik tažných operací, je nutno se seznámit se specifickými odlišnostmi tažení hliníku.

Hliníkové slitiny je možno rozdělit do dvou skupin

- hliníkové slitiny tepelně nezpracovatelné
- hliníkové slitiny tepelně zpracovatelné

První skupina obsahuje slitiny, jejichž tvrdost a pevnost je dána jejich složením. Do druhé skupiny patří slitiny, jejichž vlastnosti se dají měnit tepelným zpracováním, tzv. vytvrzováním.

Nevyžháný plech lze k tažení použít tehdy, není-li tváření při tažení příliš velké, jinak je vyžadován výchozí stav vyžháný. U slitin hliníku tvářením silně zpevněných dochází k rekrytalizaci dosažením žhací teploty téměř okamžitě. U výtažků jsou místa s různým zpevněním, a proto někdy vzniká při žhání u silně zpevněných míst hrubozrná struktura, která může mít nepříznivý vliv na následující tvářecí operaci. Proto je snaha se žhání vyhnout nejen z tohoto důvodu, ale i proto, že pracovní postup komplikuje a zvyšuje náklady. Používá se tedy vyžháného výchozího polotovaru, zvýší se počet tažných operací a nebo je-li to možné, je použit vhodnější druh materiálu.

Tepelně zpracovatelné hliníkové slitiny se vytvrzují zahřátím, rychlým ochlazením a následným stárnutím, během kterého se pevnost a tvrdost slitiny zvyšuje. Stárnutí lze zpomalit, nebo na určitou dobu zastavit tím, že slitinu po ochlazení ponecháme při nízké teplotě, při které vytvrzení nenastane. Tepelně zpracovaný materiál ve vyžháném stavu se zpevňuje tvářením za studena stejně jako slitiny tepelně nezpracovatelné. Vytvrzování neprobíhá u všech slitin stejně, u některých trvá až několik hodin, během nichž lze ještě provádět tažné operace. Tím se celý postup zjednoduší, protože není třeba výrobky umisťovat do chlazených zásobníků. Hliníková slitina má totiž po ochlazení největší schopnost k tváření, kterou potom stárnutím a vytvrzením ztrácí.

Tažidla pro tažení hliníku lze zhotovit z běžné šedé litiny, z legované litiny, z legovaných i nelegovaných ocelí i s použitím vložek ze slinutého karbidu. Šedá litina se používá u velkých výtažků při výrobě nástrojů jednak pro svou nízkou cenu, jednak tam, kde není na závadu horší jakost povrchu výtažku. Vyžaduje-li se vyšší jakost povrchu výtažku a přitom je nutno udržet cenu tažidla nízkou, používá se legovaná litina. Kalená a broušená nástrojová ocel již vyhovuje velkým nárokům a je vhodná pro zpracování tvrdších slitin hliníku. Vložky ze slinutého karbidu se používají pouze tam, kde produkční požadavky vyžadují materiál nástrojů vzdorující co nejvíce opotřebení.

2.7.4. Tažení hořčíku [1]

Hořčík je nejlehčí z lehkých kovů. Jeho široké požití je praktické a hospodárné, zejména v letectví, dále pro výrobky, které se musí přenášet a často přemísťovat, nebo tam, kde je výhodné snížení setrvačnosti.

Hořčík lze dobře táhnout jen při zvýšené teplotě, kdy lze dosáhnout dokonce hlubších výtažků než u jiných kovů za normální teploty. Lze tedy táhnout výrobky na jednu operaci ve větším množství případů než u hliníkových či ocelových výtažků, kde by bylo třeba dvou i více tažných operací. Rovněž přídržný tlak vyžaduje hořčík ze všech kovů nejnížší.

Obvykle lze táhnout hořčíkové slitiny do 1,5 násobku až 2 násobku průměru výtažku, což odpovídá redukci ($62 \div 66$) %. Tlustší plechy se táhnou lépe. Optimální je zpracování hořčíku tloušťek ($0,5 \div 15$) mm.

U tažidel musíme upravit zahřívání a přihlížet při jejich výrobě k roztaživosti teplem na rozdíl od zhotovení běžných tažidel. Tažník, tažnice i přídržovač se vyrábí obvykle z nekalitelné žáruvzdorné oceli, při menším počtu výtažků postačí běžná nekalitelná ocel. Tažníky se taky někdy vyrábějí z litiny, hliníkových nebo hořčíkových slitin. Zejména u hořčíkových slitin není třeba uvažovat součinitel tepelné roztažnosti.

Optimální teplota tažení hořčíku je asi 300 °C, protože při ní je dosažena jeho nejnížší pevnost a nejmenší odpor vůči tažení. Tažník se obvykle nezahřívá, protože se tím v přechodové části výtažku udržuje nejvyšší pevnost a zabráňuje se jeho nadměrnému zeslabování nebo i trhání. Tažná rychlost musí být velice nízká. Zvyšováním tažné rychlosti klesá téměř úměrně schopnosti kovu ke tváření, proto pro hluboké tažení jsou nejvhodnější hydraulické lisy s rychlosti beranu asi 250mm/min.

Při konstrukci tažidel musí být bráno v úvahu, že součinitel roztažnosti hořčíkových slitin je větší než u oceli nebo hliníku. Proto všechny rozměry tažidla, které ovlivňují velikost výtažku, musíme násobit součinitelem, který určíme podle teploty, při které má tažidlo pracovat.

2.7.5. Tažení molybdenu [1]

Molybden je používán hlavně ve vakuové technice. Tažení molybdenového plechu je často obtížné. Kvalita plechů se často značně liší, některý druh je velice křehký a lámavý. Při tažení se tato křehkost a lámavost projevuje tak, že výtažek praská ve stěnách již v první nebo druhé operaci a dalšími tahy se tyto vlasové trhlinky ještě rozšiřují, takže je obtížné táhnout výtažky i na výšku taženého průměru, tj. asi 55% celkové redukce přístřihu.

Praskání nastane vždy objeví-li se na výtažku vlnky po prohnutí plechu v jednom smyslu. Při následném tažení se vlnění vyrovnává a plech, který je ohýbán v opačném smyslu praská. Materiál musí být proto přídržován po celou dobu tažení.

2.7.6. Tažení titanu [1]

Čistý titan lze dobře táhnout běžným způsobem při teplotách okolí, ale některé jeho slitiny se rychle zpevňují tvářením za studena, a proto se musí žíhat po každé tažné operaci, aby kovu byla vrácena původní schopnost k tváření. Žíhá se při teplotě 700 °C tak dlouho, jak to vyžaduje tloušťka materiálu.

Počáteční redukce pro první tahy lze volit mezi ($40 \div 45$) %. Pro druhé a další tahy pak 15 až 25%. Největší překážkou úspěšného tažení titanu je jeho snaha se zadírat. Malé částčky titanu zůstávají lpět na povrchu tažnice a přídržovače, čímž se jejich povrch postupně zhoršuje. Zadírání lze snížit vhodným mazáním. Dosud však nebylo nalezeno takové mazivo, které by zadírání zcela odstranilo.

Tažná síla je mnohem vyšší než při tažení měkké oceli a rovná se síle tažení korozivzdorné oceli. Při klasickém způsobu tažení je titan citlivý na tažnou rychlost, proto nelze tvářet příliš rychle. Úspěšné tažení lze provádět asi třetinovými rychlostmi oproti tažení měkké oceli tj. 6 až 9 m/min. Nejlepších výsledků však bylo zatím dosaženo tažením explozí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4
- [2] KOČMAN, Karel, NĚMEČEK, Petr. *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha : Verlag Dashöfer, 1999. - s. ISBN 80-902247-2-5
- [3] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. 114 s. ISBN 80-248-0068-3
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie II*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 110 s. ISBN 80-7372-020-5
- [5] MAREŠ, Pavel. *Simulace hlubokého tažení plechů [online]*. MM 2002/7. Rubrika Informační technologie /CAD/CAM/CAE, strana 26 : 2002 [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <www.mmspektrum.com/clanek/simulace-hlubokeho-tazeni-plechu>.
- [6] TAWESCO s.r.o. *Archiv fotodokumentace*.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	základní plocha výtažku	[mm ²]
C	konstanta, která se odvozuje od součinitele tažení	[-]
C ₁ , C ₂	konstanty závislé na provedení tažidla, mazání, atd.	[-]
D	průměr přístřihu	[mm]
d	střední průměr výtažku	[mm]
d ₁	průměr válcového výtažku	[mm]
d _n	konečný požadovaný průměr výtažku	[mm]
F _p	síla přidržovače	[N]
F _t	tažná síla přenášená stěnami výtažku	[N]
F _{tmax}	maximální tažná síla	[N]
h	výška výtažku	[mm]
h ₁	výška válcového výtažku	[mm]
K	materiálová konstanta	[-]
L	součet délek přímých částí stěn výtažku	[mm]
m ₁ ÷ m _n	součinitel tažení pro 1. a další tahy	[-]
m _c	celkový součinitel tažení	[-]
p _p	měrný přidržovací tlak	[MPa]
r ₁	poloměr zaoblení výtažku	[mm]
r _t	poloměr tažnice	[mm]
R	poloměr zaoblení výtažku	[mm]
Re	mez v kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R ₀	redukovaný poloměr přístřihu	[mm]
R ₁ ÷ R _n	redukce při tažení pro 1. a další tahy	[%]
R _m	pevnost materiálu v tahu	[MPa]
R _c	poloměr kruhového přístřihu potřebného k tažení teoretického válcového výtažku vytvořeného z odříznutých rohů výtažku obdélníkového tvaru	[mm]
S	plocha výtažku	[mm ²]
S _c	činná plocha pod přidržovačem	[mm ²]
t	tloušťka taženého materiálu	[mm]
z	tažná vůle	[mm]
z _m	tažná mezera v rozích	[mm]
z _n	tažná mezera v podélných stěnách	[mm]
σ _t	tlakového tangenciálního napětí	[MPa]
σ ₁	radiální tahové napětí	[MPa]
σ ₂	osové tlakové napětí	[MPa]
σ ₃	tangenciální tlakové napětí	[MPa]